



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

张三慧 编著

大学物理学

力学、热学

(第三版)

清华大学出版社





普通高等教育“十一五”国家级规划教材

张三慧 编著

大学物理学 (第三版)

力学、热学

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是张三慧编著的《大学物理学》(第三版)力学、热学,讲述物理学基础理论的力学和热学部分。其中力学部分包括质点力学、刚体的转动、振动和波,以及狭义相对论;热学部分包括温度和气体动理论,热力学第一和第二定律。书中特别着重于守恒定律的讲解,也特别注意从微观上阐明物理现象及规律的本质。内容的选择上除了包括经典基本内容外,还注意适时插入现代物理概念与物理思想。为了扩大学生的现代物理知识领域,本书还专辟了“今日物理趣闻”栏目以备选讲或选读,具体内容有基本粒子,混沌——决定论的混乱,奇妙的对称性,弯曲的时空,大爆炸和宇宙膨胀,能源与环境等。此外,安排了许多现代的联系各方面的实际的例题和习题。

本书可作为高等院校的物理教材,也可以作为中学物理教师教学或其他读者自学的参考书,与本书配套的《大学物理学(第三版)学习辅导与习题解答》可帮助读者学习本书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

未经清华大学出版社授权,请不要专门为本书编写学习辅导材料,如思考题和习题解答等。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.力学、热学/张三慧编著. —3版. —北京:清华大学出版社,2008.9
ISBN 978-7-302-16599-6

I. 大… II. 张… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第189515号

责任编辑:朱红莲 邹开颜

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:28.75

字 数:662千字

版 次:2008年9月第3版

印 次:2008年9月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:33.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:
010-62770177 转 3103 产品编号:025364-01

前言

FOREWORD

这部《大学物理学》(第三版)含力学篇、热学篇,电磁学(基于相对论的电磁学)篇,光学篇、量子物理篇。本书自第一版与第二版问世以来,已被多所院校用作教材。根据使用过此书的教师与学生以及其他读者的反映,也考虑到近几年物理教学的发展动向,本书推出第三版。第三版内容的撰写与修改仍延续了第二版的科学性和系统性的特点,保持了原有的体系和风格,并在第二版的基础上,增加、拓宽了一些内容。

本书内容完全涵盖了2006年我国教育部发布的“非物理类理工学科大学物理课程基本要求”。书中各篇对物理学的基本概念与规律进行了正确明晰的讲解。讲解基本上都是以最基本的规律和概念为基础,推演出相应的概念与规律。笔者认为,在教学上应用这种演绎逻辑更便于学生从整体上理解和掌握物理课程的内容。

力学篇是以牛顿定律为基础展开的。除了直接应用牛顿定律对问题进行动力学分析外,还引入了动量、角动量、能量等概念,并着重讲解相应的守恒定律及其应用。除惯性系外,还介绍了利用非惯性系解题的基本思路,刚体的转动、振动、波动这三章内容都是上述基本概念和定律对于特殊系统的应用。狭义相对论的讲解以两条基本假设为基础,从同时性的相对性这一“关键的和革命的”(杨振宁语)概念出发,逐渐展开得出各个重要结论。这种讲解可以比较自然地使学生从物理上而不只是从数学上弄懂狭义相对论的基本结论。

热学篇的讲述是以微观的分子运动的无规则性这一基本概念为基础的。除了阐明经典力学对分子运动的应用外,特别引入并加强了统计概念和统计规律,包括麦克斯韦速率分布律的讲解。对热力学第一定律也阐述了其微观意义。对热力学第二定律是从宏观热力学过程的方向性讲起,说明方向性的微观根源,并利用热力学概率定义了玻耳兹曼熵并说明了熵增加原理,然后再进一步导出克劳修斯熵及其计算方法。这种讲法最能揭露熵概念的微观本质,也便于理解熵概念的推广应用。

电磁学篇按照传统讲法,讲述电磁学的基本理论,包括静止和运动电荷的电场,运动电荷和电流的磁场,介质中的电场和磁场,电磁感应,电磁波

等。基于相对论的电磁学篇中电磁学的讲法则是以爱因斯坦的《论动体的电动力学》为背景,完全展现了帕塞尔教授讲授电磁学的思路——从爱因斯坦到麦克斯韦,以场的概念和高斯定律为基础,根据狭义相对论演绎地引入磁场,并进而导出麦克斯韦方程组其他方程。这种讲法既能满足教学的基本要求,又充分显示了电磁场的统一性,从而使学生体会到自然规律的整体性以及物理理论的和谐优美。电磁学的讲述未止于麦克斯韦方程组,而是继续讲述了电磁波的发射机制及其传播特征等。

光学篇以电磁波和振动的叠加的概念为基础,讲述了光电干涉和衍射的规律。第24章光的偏振讲述了电磁波的横波特征。然后,根据光电波动性在特定条件下的近似特征——直接传播,讲述了几何光学的基本定律及反射镜和透镜的成像原理。

以上力学、热学、电磁学、光学各篇的内容基本上都是经典理论,但也在适当地方穿插了量子理论的概念和结论以便相互比较。

量子物理篇是从波粒二象性出发以定态薛定谔方程为基础讲解的。介绍了原子、分子和固体中电子的运动规律以及核物理的知识。关于教学要求中的扩展内容,如基本粒子和宇宙学的基本知识是在“今日物理趣闻A”和“今日物理趣闻C”栏目中作为现代物理学前沿知识介绍的。

本书除了5篇基本内容外,还开辟了“今日物理趣闻”栏目,介绍物理学的近代应用与前沿发展,而“科学家介绍”栏目用以提高学生素养,鼓励成才。

本书各章均配有思考题和习题,以帮助学生理解和掌握已学的物理概念和定律或扩充一些新的知识。这些题目有易有难,绝大多数是实际现象的分析和计算。题目的数量适当,不以多取胜。也希望学生做题时不要贪多,而要求精,要真正把做过的每一道题从概念原理上搞清楚,并且用尽可能简洁明确的语言、公式、图像表示出来,需知,对一个科技工作者来说,正确地书面表达自己的思维过程与成果也是一项重要的基本功。

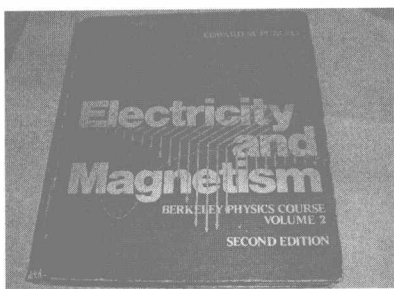
本书在保留经典物理精髓的基础上,特别注意加强了现代物理前沿知识和思想的介绍。本书内容取材在注重科学性和系统性的同时,还注重密切联系实际,选用了大量现代科技与我国古代文明的资料,力求达到经典与现代,理论与实际的完美结合。

本书在量子物理篇中专门介绍了近代(主要是20世纪30年代)物理知识,并在其他各篇适当介绍了物理学的最新发展,同时为了在大学生中普及物理学前沿知识以扩大其物理学背景,在“今日物理趣闻”专栏中,分别介绍了“基本粒子”、“混沌——决定论的混乱”、“大爆炸和宇宙膨胀”、“能源与环境”、“等离子体”、“超导电性”、“激光应用二例”、“新奇的纳米技术”等专题。这些都是现代物理学以及公众非常关心的题目。本书所介绍的趣闻有的已伸展到最近几年的发现,这些“趣闻”很受学生的欢迎,他们拿到新书后往往先阅读这些内容。

物理学很多理论都直接联系着当代科技乃至人们的日常生活。教材中列举大量实例,既能提高学生的学习兴趣,又有助于对物理概念和定律的深刻理解以及创造性思维的启迪。本书在例题、思考题和习题部分引用了大量的实例,特别是反映现代物理研究成果和应用的实例,如全球定位系统、光盘、宇宙探测、天体运行、雷达测速、立体电影等。同时还大量引用了我国从古到今技术上以及生活上的有关资料,例如古籍《宋纪要》关于“客

星”出没的记载,北京天文台天线阵,长征火箭,神舟飞船,天坛祈年殿,黄果树瀑布,阿迪力走钢丝,本人抖空竹,1976年唐山地震,1988年特大洪灾,等。这些例子体现了民族文化,可以增强学生对物理的“亲切感”,而且有助于学生的民族自豪感和责任心的提升。

物理教学除了“授业”外,还有“育人”的任务。为此本书介绍了十几位科学大师的事迹,简要说明了他们的思想境界、治学态度、开创精神和学术成就,以之作为学生为人处事的借鉴。在此我还要介绍一下我和帕塞尔教授的一段交往。帕塞尔教授是哈佛大学教授,1952年因对核磁共振研究的成果荣获诺贝尔物理奖。我于1977年看到他编写的《电磁学》,深深地为他的新讲法所折服。用他的书讲述两遍后,于1987年冒然写信向他请教,没想到很快就收到他的回信(见附图)和赠送给我的教材(第二版)及习题解答。他这种热心帮助一个素不相识的外国教授的行为使我非常感动。



帕塞尔《电磁学》(第二版)封面



本书作者与帕塞尔教授合影(1993年)

HARVARD UNIVERSITY

DEPARTMENT OF PHYSICS

LYMAN LABORATORY OF PHYSICS
CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS 02138

November 30, 1987

Professor Zhang Sanhui
Department of Physics
Tsinghua University
Beijing 100084
The People's Republic of China

Dear Professor Zhang:

Your letter of November 8 pleases me more than I can say, not only for your very kind remarks about my book, but for the welcome news that a growing number of physics teachers in China are finding the approach to magnetism through relativity enlightening and useful. That is surely to be credited to your own teaching, and also, I would surmise, to the high quality of your students. It is gratifying to learn that my book has helped to promote this development.

I don't know whether you have seen the second edition of my book, published about three years ago. A copy is being mailed to you, together with a copy of the Problem Solutions Manual. I shall be eager to hear your opinion of the changes and additions, the motivation for which is explained in the new Preface. May I suggest that you inspect, among other passages you will be curious about, pages 170-171. The footnote about Leigh Page repairs a regrettable omission in my first edition. When I wrote the book in 1963 I was unaware of Page's remarkable paper. I did not think my approach was original -- far from it -- but I did not take time to trace its history through earlier authors. As you now share my preference for this strategy I hope you will join me in mentioning Page's 1912 paper when suitable opportunities arise.

Your remark about printing errors in your own book evokes my keenly felt sympathy. In the first printing of my second edition we found about 50 errors, some serious! The copy you will receive is from the third printing, which still has a few errors, noted on the Errata list enclosed in the book. There is an International Student Edition in paperback. I'm not sure what printing it duplicates.

The copy of your own book has reached my office just after I began this letter! I hope my shipment will travel as rapidly. It will be some time before I shall be able to study your book with the care it deserves, so I shall not delay sending this letter of grateful acknowledgement.

Sincerely yours,

Edward M. Purcell

Edward M. Purcell

EMP/cad

帕塞尔回信复印件

他在信中写道“本书 170—171 页关于 L. Page 的注解改正了第一版的一个令人遗憾的疏忽。1963 年我写该书时不知道 Page 那篇出色的文章,我并不认为我的讲法是原创的——远不是这样——但当时我没有时间查找早先的作者追溯该讲法的历史。现在既然你也喜欢这种讲法,我希望你和我一道在适当时机宣扬 Page 的 1912 年的文章。”一位物理学大师对自己的成就持如此虚心、谦逊、实事求是的态度使我震撼。另外他对自己书中的疏漏(实际上有些是印刷错误)认真修改,这种严肃认真的态度和科学精神也深深地教

育了我。帕塞尔这封信所显示的作为一个科学家的优秀品德,对我以后的为人处事治学等方面都产生了很大影响,始终视之为楷模追随仿效,而且对我教的每一届学生都要展示帕塞尔的这一封信对他们进行教育,收到了很好的效果。

本书的撰写和修订得到了清华大学物理系老师的热情帮助(包括经验与批评),也采纳了其他兄弟院校的教师和同学的建议和意见。此外也从国内外的著名物理教材中吸取了很多新的知识、好的讲法和有价值的素材。这些教材主要有:新概念物理教程(赵凯华等),Feynman Lectures on Physics, Berkeley Physics Course (Purcell E M, Reif F, et al.), The Manchester Physics Series (Mandl F, et al.), Physics (Chianian H C.), Fundamentals of Physics (Resnick R), Physics (Alonso M et al.)等。

对于所有给予本书帮助的老师和学生以及上述著名教材的作者,本人在此谨致以诚挚的谢意。清华大学出版社诸位编辑对第三版杂乱的原稿进行了认真的审阅和编辑,特在此一并致谢。

张三慧

2008年1月

于清华园

目 录

CONTENTS

今日物理趣闻 A 基本粒子	1
A.1 粒子的发现与特征	1
A.2 粒子分类	2
A.3 粒子的转化与守恒定律	4
A.4 夸克	5
A.5 色	6
A.6 粒子研究与技术	8

第 1 篇 力 学

第 1 章 质点运动学	13
1.1 参考系	13
1.2 质点的位矢、位移和速度	17
1.3 加速度	21
1.4 匀加速运动	25
1.5 抛体运动	27
1.6 圆周运动	31
1.7 相对运动	35
提要	37
思考题	38
习题	39
科学家介绍 伽利略	42
第 2 章 运动与力	44
2.1 牛顿运动定律	44

2.2	常见的几种力	48
*2.3	基本的自然力	51
2.4	应用牛顿定律解题	54
2.5	非惯性系与惯性力	58
*2.6	科里奥利力	62
*2.7	潮汐	65
	提要	70
	思考题	70
	习题	72
	科学家介绍 牛顿	78
今日物理趣闻 B 混沌——决定论的混乱		
B.1	决定论的可预测性	80
B.2	决定论的不可预测性	80
B.3	对初值的敏感性	82
B.4	几个混沌现象实例	83
第3章 动量与角动量		
3.1	冲量与动量定理	86
3.2	动量守恒定律	89
3.3	火箭飞行原理	92
3.4	质心	94
3.5	质心运动定理	96
3.6	质点的角动量和角动量定理	100
3.7	角动量守恒定律	102
3.8	质点系的角动量定理	104
3.9	质心参考系中的角动量	106
	提要	107
	思考题	108
	习题	109
	科学家介绍 开普勒	112
第4章 功和能		
4.1	功	113
4.2	动能定理	116
4.3	势能	119
4.4	引力势能	121

4.5	由势能求保守力	123
4.6	机械能守恒定律	125
4.7	守恒定律的意义	131
4.8	碰撞	132
*4.9	两体问题	137
4.10	流体的稳定流动	139
4.11	伯努利方程	140
	提要	144
	思考题	145
	习题	147
今	日物理趣闻 C 奇妙的对称性	152
	C.1 对称美	152
	C.2 对称性种种	154
	C.3 物理定律的对称性	155
	C.4 宇称守恒与不守恒	155
	C.5 自然界的不对称现象	157
	C.6 关于时间的对称性	158
第 5 章	刚体的转动	160
	5.1 刚体转动的描述	160
	5.2 转动定律	162
	5.3 转动惯量的计算	164
	5.4 转动定律的应用	167
	5.5 角动量守恒	170
	5.6 转动中的功和能	173
	*5.7 进动	177
	提要	179
	思考题	180
	习题	182
第 6 章	振动	187
	6.1 简谐运动的描述	187
	6.2 简谐运动的动力学	190
	6.3 简谐运动的能量	194
	6.4 阻尼振动	195

6.5	受迫振动 共振	197
6.6	同一直线上同频率的简谐运动的合成	199
6.7	同一直线上不同频率的简谐运动的合成	200
*6.8	谐振分析	202
*6.9	两个相互垂直的简谐运动的合成	204
	提要	205
	思考题	206
	习题	207
第7章 波动		211
7.1	行波	211
7.2	简谐波	212
7.3	物体的弹性形变	217
7.4	弹性介质中的波速	219
7.5	波的能量	221
7.6	惠更斯原理与波的反射和折射	224
7.7	波的叠加 驻波	228
7.8	声波	232
*7.9	地震波	234
*7.10	水波	236
7.11	多普勒效应	237
*7.12	行波的叠加和群速度	241
*7.13	孤子	243
	提要	245
	思考题	246
	习题	247
第8章 狭义相对论基础		253
8.1	牛顿相对性原理和伽利略变换	253
8.2	爱因斯坦相对性原理和光速不变	256
8.3	同时性的相对性和时间延缓	257
8.4	长度收缩	262
8.5	洛伦兹坐标变换	264
8.6	相对论速度变换	267
8.7	相对论质量	270
*8.8	力和加速度的关系	272

8.9 相对论动能	273
8.10 相对论能量	275
8.11 动量和能量的关系	278
*8.12 相对论力的变换	280
提要	281
思考题	283
习题	283
科学家介绍 爱因斯坦	286

今日物理趣闻 D 弯曲的时空——广义相对论简介

D.1 等效原理	289
D.2 光线的偏折和空间弯曲	291
D.3 广义相对论	293
D.4 引力时间延缓	294
D.5 引力波	296
D.6 黑洞	297

第 2 篇 热 学

第 9 章 温度和气体动理论	301
9.1 平衡态	301
9.2 温度的概念	302
9.3 理想气体温标	303
9.4 理想气体状态方程	305
9.5 气体分子的无规则运动	308
9.6 理想气体的压强	309
9.7 温度的微观意义	313
9.8 能量均分定理	314
9.9 麦克斯韦速率分布律	317
9.10 麦克斯韦速率分布律的实验验证	323
*9.11 玻耳兹曼分布律	324
9.12 实际气体等温线	326
*9.13 范德瓦耳斯方程	327
*9.14 非平衡态 输运过程	331
提要	335

思考题	337
习题	339
科学家介绍 玻耳兹曼	342
今日物理趣闻 E 大爆炸和宇宙膨胀	345
E.1 现时的宇宙	345
E.2 宇宙膨胀和大爆炸	346
E.3 从大爆炸到今天	348
E.4 宇宙的未来	351
E.5 至大和至小的理论结合起来了	354
第 10 章 热力学第一定律	356
10.1 功 热量 热力学第一定律	356
10.2 准静态过程	358
10.3 热容	362
10.4 绝热过程	366
10.5 循环过程	370
10.6 卡诺循环	373
10.7 致冷循环	375
提要	377
思考题	378
习题	379
科学家介绍 焦耳	384
今日物理趣闻 F 能源与环境	387
F.1 各式能源的利用	387
F.2 人类环境问题	388
第 11 章 热力学第二定律	393
11.1 自然过程的方向	393
11.2 不可逆性的相互依存	395
11.3 热力学第二定律及其微观意义	396
11.4 热力学概率与自然过程的方向	398
11.5 玻耳兹曼熵公式与熵增加原理	401
11.6 可逆过程	404
11.7 克劳修斯熵公式	405

11.8 用克劳修斯熵公式计算熵变	409
* 11.9 温熵图	412
* 11.10 熵和能量退降	413
提要	414
思考题	415
习题	416
今日物理趣闻 G 耗散结构	419
G.1 宇宙真的正在走向死亡吗	419
G.2 生命过程的自组织现象	419
G.3 无生命世界的自组织现象	421
G.4 开放系统的熵变	422
G.5 稍离平衡的系统	423
G.6 远离平衡的系统	424
G.7 通过涨落达到有序	425
数值表	427
习题答案	429
索引	438

基本粒子

物理学是研究自然界的物质结构,大到宇宙的结构,小到最微小的粒子的结构,以及物质运动的最普遍最基本的规律的自然科学。自伽利略-牛顿时代(17世纪中叶)以来,特别是19世纪中叶以来,物理学已有了长足的发展。今天的物理学已揭示了自然界的许多奇特的奥秘,在各方面提供了许多有趣又有用的知识。我们将在本书的适当地方向同学们介绍一些这样的知识。作为本书的开篇,下面就来简要介绍现代物理学在物质的基本结构——粒子——的研究中所取得的认识。

A 1 粒子的发现与特征

物质是由一些基本微粒组成的,这种思想可以追溯到古代希腊。当时德谟克利特(公元前460—前370年)就认为物质都是由“原子”(古希腊语本意是“不可分”)组成的。中国古代也有认为自然界是由金、木、水、火、土5种元素组成的说法。但是物质是由原子组成的这一概念成为科学认识是迟至19世纪才确定的,当时认识到原子是化学反应所涉及的物质的最小基本单元。1897年,汤姆逊发现了电子(e),它带有负电,电量与一个氢离子所带的电量相等。它的质量大约是氢原子质量的 $1/1800$,它存在于各种物质的原子中,这是人类发现的第一个更为基本的粒子。其后1911年卢瑟福通过实验证实原子是由电子和原子核组成的。1932年又确认了原子核是由带正电的质子(p ,即氢原子核)和不带电的中子(n ,它和质子的质量差不多相等)组成的。这种中子和质子也成了“基本粒子”。1932年还发现了正电子(e^+),其质量和电子相同但带有等量的正电荷。由于很难说它是由电子、质子或中子构成的,于是正电子也加入了“基本粒子”的行列。之后,人们制造了大能量的加速器来加速电子或质子,企图用这些高能量的粒子作为炮弹轰开中子或质子来了解其内部结构,从而确认它们是否是“真正的基本粒子”。但是,令人惊奇的是在高速粒子轰击下,中子或质子不但不破碎成更小的碎片,而且在剧烈的碰撞过程中还产生了许多新的粒子,有些粒子的质量比质子的质量还要大,因而情况显得更为复杂。后来通过类似的实验(以及从宇宙射线中)又发现了几百种不同的粒子。它们的质量不同、性质互异,且能相互转化,这就很难说哪种粒子更基本。所以现在就把“基本”二字取消,统称它们为粒子。本部分的题目仍用“基本粒子”,只具有习惯上的意义。

在粒子的研究中,发现描述粒子特征所需的物理量随着人们对粒子性质的认识逐步深入而增多。常见的这种物理量可以举出以下几个。

1. 质量

粒子的质量是指它静止时的质量,在粒子物理学中常用 MeV/c^2 作质量的单位。 MeV 是能量的单位, $1 \text{ MeV} = 1.602 \times 10^{-13} \text{ J}$ 。由爱因斯坦质能公式 $E = mc^2$ (见本书 8.10 节) 可以求得, $1 \text{ MeV}/c^2$ 的质量为

$$1.602 \times 10^{-13} / (3 \times 10^8)^2 = 1.78 \times 10^{-30} \text{ (kg)}$$

2. 电荷

有的粒子带正电,有的带负电,有的不带电。带电粒子所带电荷都是量子化的,即电荷的数值都是元电荷 e (即一个质子的电荷) 的整数倍。因而粒子的电荷就用元电荷 e 的倍数来度量,而

$$1 e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

3. 自旋

每个粒子都有自旋运动,好像永不停息地旋转着的陀螺那样。它们的自旋角动量(简称自旋)也是量子化的,通常用 \hbar 的倍数来度量,而

$$1 \hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

有的粒子的自旋是 \hbar 的整数倍或零,有的则是 \hbar 的半整数倍(如 $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$ 倍)。

4. 寿命

在已发现的数百种粒子中,除电子、质子和中微子以外,实验确认它们都是不稳定的。它们都要在或长或短的时间内衰变为其他粒子。粒子在衰变前平均存在的时间叫做粒子的寿命。例如一个自由中子的寿命约 12 min,有的粒子的寿命为 10^{-10} s 或 10^{-14} s ,很多粒子的寿命仅为 10^{-23} s ,甚至 10^{-25} s 。

对各种粒子的研究比较发现,它们都是配成对的。配成对的粒子称为正、反粒子。正、反粒子的一部分性质完全相同,另一部分性质完全相反。例如,电子和正电子就是一对正、反粒子,它们的质量和自旋完全相同,但它们的电荷和磁矩完全相反。又例如,中子和反中子也是一对正、反粒子,它们的质量、自旋、寿命完全相同,但它们的磁矩完全相反。有些正、反粒子的所有性质完全相同,因此就是同一种粒子。光子和 π^0 介子就是两种这样的粒子。

A.2 粒子分类

粒子间的相互作用,按现代粒子理论的标准模型划分,有 4 种基本的形式,即万有引力、电磁力、强相互作用力和弱相互作用力(见本书 2.3 节)。按现代理论,各种相互作用都分别由不同的粒子作为传递的媒介。光子是传递电磁作用的媒介,中间玻色子是传递弱相互作用的媒介,胶子是传递强相互作用的媒介。这些都已为实验所证实。对于引力,

现在还只能假定,它是由一种“引力子”作为媒介的。由于这些粒子都是现代标准模型的“规范理论”中预言的粒子,所以这些粒子统称为规范粒子。由于胶子共有 8 种,连同引力子、光子、3 种中间玻色子,规范粒子总共有 13 种。它们的已被实验证实的特征物理量如表 A.1 所示。

表 A.1 规范粒子

粒子种类	自旋/ \hbar	质量/(MeV/c ²)	电荷/ e
引力子	2		0
光子	γ	0	0
中间玻色子	W ⁺	8.1×10 ⁴	1
	W ⁻	8.1×10 ⁴	-1
	Z ⁰	9.4×10 ⁴	0
胶子	g	0	0

除规范粒子外,所有在实验中已发现的粒子可以按照其是否参与强相互作用而分为两大类:一类不参与强相互作用的称为轻子,另一类参与强相互作用的称为强子。

现在已发现的轻子有电子(e)、 μ 子(μ)、 τ 子(τ)及相应的中微子(ν_e, ν_μ, ν_τ),它们的特征物理量如表 A.2 所示。在目前实验误差范围内,3 种中微子的质量为零。但是中微子的质量是否真等于零,还有待于更精确的实验证实。

表 A.2 轻子

粒子种类	自旋/ \hbar	质量/(MeV/c ²)	电荷/ e	寿命
e	1/2	0.511	-1	稳定
ν_e	1/2	0	0	稳定
μ	1/2	105.7	-1	2.2×10 ⁻⁶ s
ν_μ	1/2	0	0	稳定
τ	1/2	1776.9	-1	3.4×10 ⁻¹³ s
ν_τ	1/2	0	0	稳定

从表 A.2 中可以看出 τ 子的质量约是电子质量的 3500 倍,差不多是质子质量的两倍。它实际上一点也不轻。这 6 种“轻子”都有自己的反粒子,所以实际上有 12 种轻子。

实验上已发现的成百种粒子绝大部分是强子。强子又可按其自旋的不同分为两大类:一类自旋为半整数,统称为重子;另一类自旋为整数或零,统称为介子。最早发现的重子是质子,最早发现的介子是 π 介子。 π 介子的质量是电子质量的 270 倍,是质子质量的 1/7,介于二者之间。后来实验上又发现了许多介子,其质量大于质子的质量甚至是质子质量的 10 倍以上。例如,丁肇中发现的 J/ ψ 粒子的质量就是质子质量的 3 倍多。这样,早年提出的名词“重子”、“轻子”和“介子”等已经不合适,但由于习惯,仍然一直沿用到今天。表 A.3 列出了一些强子的特征物理量。